

文章编号:1005-0906(1999)03-0068-05

氮钾互作对春玉米养分吸收动态及模式的影响*

何萍,金继运

(中国农业科学院土壤肥料研究所,
农业部植物营养学重点开放实验室,北京 100081)

摘要:采用田间试验与植株分析等方法研究了不同氮钾配比下春玉米养分吸收动态及模式,结果表明,不同氮钾配比下春玉米氮磷钾绝对量的积累均符合 Logistic 方程,肥料用量与比例可明显影响到玉米养分吸收最大速率及其出现日期。用量及比例适宜可获得较高的养分最大吸收速率,且其最大速率出现日期相对较早;玉米氮素最大吸收速率出现在中后期,应注意氮肥的分次施用。每生产 100 kg 玉米子粒,适宜氮(N)、磷(P)、钾(K)的吸收量分别为 1.954、0.376 和 1.390 kg。植株养分吸收适宜比例为 1:0.19:0.71。

关键词:春玉米;氮钾配比;养分吸收模式

中图分类号:S 513.062

文献标识码:A

玉米高产研究中,养分吸收问题历来受到重视。当前,有关该方面的研究主要集中在品种间的比较^[1],或不同生产力水平下养分需求规律的探讨^[2,3,4],有关施肥对养分吸收的影响也有一些研究^[5,6,7],并且在作物氮磷钾吸收动态及模式的研究中引入养分最大吸收速率概念,取得了良好的模拟结果^[8]。但迄今,肥料用量与春玉米养分吸收的关系研究尚不系统深入,尤其是养分吸收的定量化模拟则未见报道。本研究试从定量模拟的角度研究不同氮钾用量与配比下养分吸收动态及模式,以从更深层次上揭示春玉米对肥料的反应规律。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

试验于 1997 年在吉林省公主岭市刘房子乡黑土上进行,供试土壤的基本农化性状为:有机质 2.13%,全 N 0.123%,速效 N 100.79 mg/kg,有效 P 11.67 mg/kg,速效 K 113.14 mg/kg, pH5.2。

1.2 试验设计

试验处理为 3 种施氮量和 3 种施钾量构成的结合。3 种施 N 量分别为 0、263 和 375 kg/hm²,3 种 K₂O 量分别为 0、150 和 300 kg/hm²,包括 N₀K₀,N₀K₁₅₀,N₀K₃₀₀,N₂₆₃K₀,N₂₆₃K₁₅₀,N₂₆₃K₃₀₀,N₃₇₅K₀,N₃₇₅K₁₅₀和 N₃₇₅K₃₀₀等共 9 个处理。各处理均施 P₂O₅ 92 kg/hm²,随机排列,重复 3 次。氮肥分两次施用,其中 1/5 作基肥,4/5 作追肥。磷钾肥全部作基肥一次性施用,小区面

收稿日期:1998-10-19

作者简介:何萍(1970-),女,博士,中国农业科学院土壤肥料研究所助理研究员,从事土壤与植物营养研究。

*“九五”国家重中之重科技攻关项目“玉米高产施肥与提高化肥利用率技术”资助

积 30 m²。玉米品种为 97006,4 月 8 日施基肥,5 月 25 日出苗,6 月 24 日追肥,9 月 23 日收获,全生育期 121 d。

在玉米不同生育期,即苗期(6 月 12 日)、拔节期(6 月 24 日)、大喇叭口期(7 月 10 日)、抽雄期(7 月 21 日)、吐丝期(8 月 11 日)、灌浆期(8 月 27 日)、蜡熟期(9 月 12 日)和成熟期(9 月 23 日)(分别为出苗后 18、30、46、57、78、94、110、121 d),从各处理选取有代表性的玉米(97006)5~10 株(苗期 30 株),分别测定营养体和子粒等组分干重及氮磷钾含量。

1.3 数据处理

采用 SPSS 统计软件对养分积累动态进行模拟及回归分析。

2 结 果

2.1 产 量

玉米总生物产量及子粒产量各量级分别以 N₂₆₃K₁₅₀处理产量最高,表明只有氮钾配比适宜才能获得高产(表 1)。

表 1 玉米生物产量的回归分析

处 理	产量(g/株)		显著性		处 理	产量(g/株)		显著性	
	生物	子粒	生物	子粒		生物	子粒	生物	子粒
N ₀ K ₀	218	115	e	e	N ₂₆₃ K ₃₀₀	324	177	b	b
N ₀ K ₁₅₀	281	149	c	c	N ₃₇₅ K ₀	275	127	c	de
N ₀ K ₃₀₀	248	130	d	d	N ₃₇₅ K ₁₅₀	326	160	d	bc
N ₂₆₃ K ₀	304	165	bc	bc	N ₃₇₅ K ₃₀₀	302	146	bc	cd
N ₂₆₃ K ₁₅₀	362	202	a	a					

$$r_{0.01}(2) = 0.990$$

生物产量: LSD_{0.05} = 26.2, n = 3; 子粒产量: LSD_{0.05} = 17.6, n = 3

2.2 养分积累模式

2.2.1 养分积累总量 由表 2、3、4 可见,不同氮钾组合下,玉米养分绝对量的积累呈现出一定的规律性。氮素和钾素积累总量在各施氮水平下表现为 K₁₅₀ > K₃₀₀ > K₀,在各施钾水平下表现为 N₂₆₃ > N₃₇₅ > N₀;磷素积累总量在各施氮水平下,施钾处理表现为 K₁₅₀ > K₃₀₀ > K₀,各施钾水平下,施氮处理表现为 N₂₆₃ > N₀ > N₃₇₅。表明氮钾配合合理有助于玉米对氮磷钾养分的吸收,但氮钾水平过高,则养分吸收总量减少,尤其当氮用量过高时,磷素吸收大大降低。

2.2.2 养分积累模式及参数 回归分析发现,各施肥处理玉米 NPK 吸收总量(Y)依出苗后天数(X)的增长过程呈不对称的 S 型曲线,符合 Logistic 方程 $Y = K/(1 + ae^{bx})$ (表 2、3、4),并可根据该方程求得其最大吸收速率及其出现日期。

模拟结果显示,氮、磷、钾最大吸收速率,各施氮水平下,以 K₁₅₀组合最高;各施钾水平下,以 N₂₆₃组合最高,即 N₂₆₃K₁₅₀处理其养分吸收速率最大,氮、磷、钾最大吸收速率分别为 144.02、10.95 和 256.22 mg/株·d。总的趋势是钾素最大吸收速率大于氮素最大吸收速率,磷素最大吸收速率最小。

玉米氮、磷、钾最大吸收速率出现日期也不同。氮约为出苗后 50~78 d,磷约为出苗后 69~99 d,钾约为出苗后 40~52 d。与干物质积累最大速率出现日期相比,氮素最大速率出现日期略早,磷素略晚,而钾素则大为提早。各氮或钾水平,分别以 K₁₅₀或 N₂₆₃相应的处理最大速率出现日期较早,其中,以 N₂₆₃K₁₅₀最早,分别为出苗后的 50.3、80.9 和 40.5 d(表 2、3、4)。可见,氮钾配比可通过影响养分吸收的最大速率及其出现日期而影响到养分吸收总量。

表 2 玉米氮素积累的 Logistic 方程回归分析

处 理	回归方程	r	养分吸收最大速率 (mg/株·d)	最大速率出现天数 (d)	吸 N 总量 (g/株)
N ₀ K ₀	2.074/(1 + 14.72e ^{-0.037x})	0.947	19.18	72.7	1.924
N ₀ K ₁₅₀	2.568/(1 + 127.33e ^{-0.094x})	0.983	60.35	51.6	2.871
N ₀ K ₃₀₀	2.497/(1 + 19.91e ^{-0.038x})	0.966	23.72	78.7	2.112
N ₂₆₃ K ₀	2.935/(1 + 246.98e ^{-0.105x})	0.981	77.04	52.5	3.398
N ₂₆₃ K ₁₅₀	3.556/(1 + 3449.98e ^{-0.162x})	0.988	144.02	50.3	3.947
N ₂₆₃ K ₃₀₀	3.526/(1 + 68.52e ^{-0.072x})	0.981	63.47	58.7	3.764
N ₃₇₅ K ₀	2.629/(1 + 51.46e ^{-0.065x})	0.991	42.72	60.6	2.755
N ₃₇₅ K ₁₅₀	3.197/(1 + 155.39e ^{-0.094x})	0.990	75.13	53.7	3.372
N ₃₇₅ K ₃₀₀	2.865/(1 + 69.79e ^{-0.071x})	0.987	50.85	59.8	3.155

$$r_{0.01}(6) = 0.834$$

表 3 玉米磷素积累的 Logistic 方程回归分析

处 理	回归方程	r	养分吸收最大速率 (mg/株·d)	最大速率出现天数 (d)	吸 P 总量 (g/株)
N ₀ K ₀	0.485/(1 + 47.61e ^{-0.039x})	0.983	4.73	99.1	0.329
N ₀ K ₁₅₀	0.728/(1 + 76.10e ^{-0.048x})	0.993	8.74	90.3	0.568
N ₀ K ₃₀₀	0.629/(1 + 56.29e ^{-0.041x})	0.993	6.45	98.3	0.460
N ₂₆₃ K ₀	0.686/(1 + 63.68e ^{-0.044x})	0.991	7.55	94.4	0.536
N ₂₆₃ K ₁₅₀	0.859/(1 + 61.83e ^{-0.051x})	0.992	10.95	80.9	0.760
N ₂₆₃ K ₃₀₀	0.683/(1 + 71.27e ^{-0.050x})	0.994	8.54	85.3	0.581
N ₃₇₅ K ₀	0.460/(1 + 45.71e ^{-0.050x})	0.985	5.75	76.4	0.446
N ₃₇₅ K ₁₅₀	0.581/(1 + 87.89e ^{-0.064x})	0.995	9.30	69.9	0.570
N ₃₇₅ K ₃₀₀	0.503/(1 + 83.19e ^{-0.056x})	0.992	7.04	78.3	0.487

$$r_{0.01}(6) = 0.834$$

表 4 玉米钾素积累的 Logistic 方程回归分析

处 理	回归方程	r	养分吸收最大速率 (mg/株·d)	最大速率出现天数 (d)	吸 K 总量 (g/株)
N ₀ K ₀	1.085/(1 + 1988.55e ^{-0.184x})	0.998	49.91	41.3	1.050
N ₀ K ₁₅₀	2.205/(1 + 989012.41e ^{-0.295x})	0.986	162.62	46.8	1.892
N ₀ K ₃₀₀	1.668/(1 + 357.91e ^{-0.124x})	0.991	51.71	47.4	1.524
N ₂₆₃ K ₀	1.808/(1 + 2294.15e ^{-0.165x})	0.984	74.58	46.9	1.660
N ₂₆₃ K ₁₅₀	2.945/(1 + 13232673.68e ^{-0.348x})	0.997	256.22	40.5	2.807
N ₂₆₃ K ₃₀₀	2.503/(1 + 1337.26e ^{-0.142x})	0.984	88.86	50.7	2.257
N ₃₇₅ K ₀	1.619/(1 + 233.99e ^{-0.105x})	0.997	42.50	52.0	1.565
N ₃₇₅ K ₁₅₀	2.517/(1 + 76076.02e ^{-0.232x})	0.991	145.99	48.4	2.255
N ₃₇₅ K ₃₀₀	2.126/(1 + 5184.23e ^{-0.167x})	0.999	88.76	51.2	2.076

$$r_{0.01}(6) = 0.834$$

2.2.3 养分阶段积累百分比 由表 5 可见,氮素后期积累在施氮为 0,263 和 375 kg/hm² 条件下分别表现为 K₁₅₀ > K₃₀₀ > K₀, K₁₅₀ ≈ K₃₀₀ > K₀ 和 K₁₅₀ > K₀ > K₃₀₀,磷素后期积累分别为 K₁₅₀ > K₀ > K₃₀₀, K₁₅₀ > K₃₀₀ > K₀ 和 K₁₅₀ > K₃₀₀ ≈ K₀,钾素积累后期反而出现了负增长,可能是 1997 年 8 月下旬雨量较多引起植株钾素淋溶所致,含 N₀、N₂₆₃ 和 N₃₇₅ 的处理分别表现为 K₁₅₀ ≈ K₃₀₀ ≈ K₀, K₁₅₀ > K₃₀₀ > K₀ 和 K₁₅₀ ≈ K₀ ≈ K₃₀₀ (表 5)。

玉米氮素与磷素有一半以上是在抽雄后吸收的,且吸收可一直持续到成熟期。而生长前

期钾素吸收较快,到灌浆期已积累了总量的 82.8%~95.5%,此后仅有少量吸收。

表5 玉米养分阶段积累百分比 %

养 分	处 理	出苗后天数(d)							
		18	30	46	57	78	94	110	121
N	N ₀ K ₀	0.3	5.9	42.4	54.0	45.0	62.2	86.0	100
	N ₀ K ₁₅₀	0.4	5.4	32.5	62.2	71.5	81.6	91.1	100
	N ₀ K ₃₀₀	0.3	5.3	36.7	50.1	51.9	69.4	95.7	100
	N ₂₆₃ K ₀	0.3	5.1	25.8	59.6	70.9	81.0	83.1	100
	N ₂₆₃ K ₁₅₀	0.3	4.9	27.9	69.3	78.7	84.4	94.8	100
	N ₂₆₃ K ₃₀₀	0.3	3.9	24.0	53.9	71.9	74.1	95.0	100
	N ₃₇₅ K ₀	0.4	4.9	30.3	46.1	69.4	81.3	89.0	100
	N ₃₇₅ K ₁₅₀	0.4	4.9	29.6	61.8	76.1	90.5	97.4	100
	N ₃₇₅ K ₃₀₀	0.3	3.9	25.3	46.7	69.6	77.4	83.0	100
P	N ₀ K ₀	0.2	3.0	18.7	35.8	39.6	60.9	96.6	100
	N ₀ K ₁₅₀	0.1	2.5	15.3	26.7	43.7	63.6	99.1	100
	N ₀ K ₃₀₀	0.1	2.2	14.7	29.7	39.8	62.6	84.0	100
	N ₂₆₃ K ₀	0.2	2.8	12.1	30.2	37.6	66.9	83.1	100
	N ₂₆₃ K ₁₅₀	0.1	2.4	14.0	33.9	53.3	68.9	95.5	100
	N ₂₆₃ K ₃₀₀	0.1	2.6	12.1	29.6	48.4	66.5	93.3	100
	N ₃₇₅ K ₀	0.1	2.6	17.8	33.8	60.2	64.8	82.3	100
	N ₃₇₅ K ₁₅₀	0.2	2.8	16.1	38.6	61.3	83.9	94.1	100
	N ₃₇₅ K ₃₀₀	0.1	2.4	11.1	29.3	50.0	74.0	80.6	100
K	N ₀ K ₀	0.5	9.6	69.4	87.7	95.9	100	99.5	93.4
	N ₀ K ₁₅₀	0.3	6.5	40.2	88.7	97.6	100	89.2	78.6
	N ₀ K ₃₀₀	0.3	6.9	44.7	69.2	85.5	97.5	100	84.5
	N ₂₆₃ K ₀	0.4	7.9	39.6	72.9	100	86.3	79.7	79.3
	N ₂₆₃ K ₁₅₀	0.2	6.6	38.8	95.1	97.6	100	98.5	92.9
	N ₂₆₃ K ₃₀₀	0.3	6.2	31.7	61.8	100	92.8	89.9	82.4
	N ₃₇₅ K ₀	0.4	6.4	37.9	58.2	91.1	100	95.8	93.5
	N ₃₇₅ K ₁₅₀	0.3	5.6	32.1	80.8	88.9	100	93.2	81.6
	N ₃₇₅ K ₃₀₀	0.3	5.2	27.1	70.4	93.4	100	97.6	94.5

2.3 玉米养分吸收比例

由表6可见,不同氮钾配比下,每生产 100 kg 玉米子粒,所吸收的氮、磷、钾养分分别为 N1.625~2.169 kg, P 0.286~0.381 kg 和 K 0.913~1.422 kg; 与 N₂₆₃水平的组合比较, N₃₇₅水平的组合氮钾吸收量过高,可见过量施氮将导致肥料利用率降低; 而产量最佳的处理 N₂₆₃K₁₅₀, 养分吸收量分别为 N1.954 kg, P 0.376 kg 和 K 1.390 kg, 该处理的养分吸收比例为 1:0.19:0.71。

表6 每生产 100 kg 子粒玉米 N P K 吸收量及其比例

处 理	N	P	K	N:P:K
N ₀ K ₀	1.673	0.286	0.913	1:0.17:0.55
N ₀ K ₁₅₀	1.927	0.381	1.270	1:0.20:0.66
N ₀ K ₃₀₀	1.625	0.354	1.172	1:0.22:0.72
N ₂₆₃ K ₀	2.059	0.325	1.006	1:0.16:0.49
N ₂₆₃ K ₁₅₀	2.954	0.376	1.390	1:0.19:0.71
N ₂₆₃ K ₃₀₀	2.167	0.328	1.275	1:0.15:0.59
N ₃₇₅ K ₀	2.169	0.351	1.232	1:0.16:0.57
N ₃₇₅ K ₁₅₀	2.108	0.356	1.409	1:0.17:0.67
N ₃₇₅ K ₃₀₀	2.101	0.334	1.422	1:0.16:0.67

3 讨论与结论

(1)董钻^[8]研究大豆氮、磷、钾吸收动态及模式,结果表明,大豆养分最大吸收速率及其日期受施肥影响。张智猛等^[6,7]研究得出,肥料用量及分配方式对玉米氮、磷、钾素阶段积累量有明显影响。本文研究结果进一步揭示,玉米植株氮、磷、钾积累动态与干物质积累动态基本同步,也可用 Logistic 方程描述。氮、磷养分最大吸收速率出现日期基本上与干物质积累最大速率出现日期相吻合,而钾素最大速率出现日期则早于氮素和磷素。

(2)养分最大吸收速率及其出现日期可作为玉米养分吸收动态的特征参数,肥料用量可通过影响这些参数而影响到玉米的养分吸收。氮钾用量及配比合理可获得较高的养分最大吸收速率及较早的最大速率出现日期。

(3)玉米氮素与磷素有一半以上是在抽雄后吸收的,且吸收可一直持续到成熟期。而生长前期钾素吸收较快,到灌浆期已积累了总量的 82.8%~95.5%,此后仅有少量吸收。因此,要获得玉米高产,必须合理运筹肥料,氮肥应分次施用,以既能保证前期营养生长阶段源的氮素需求,又能为后期生殖生长阶段库的充实提供后备。而考虑到土壤中磷肥难以移动和钾肥可被玉米快速吸收,磷钾肥以作基肥一次性施入为宜。

(4)每生产 100 kg 玉米(97006)子粒,氮钾配合合理的 $N_{263}K_{150}$ 处理养分需求量为 N 1.954 kg, P 0.376 kg 和 K 1.390 kg,植株吸收养分适宜比例(N:P:K)为 1:0.19:0.71。

参 考 文 献

- [1] Osaki M. Comparison of productivity between tropical and temperate maize. II. Parameters determining the productivity in relation to the amount of nitrogen absorbed, *Soil Sci. Plant Nutri.*, 1995, 41(3): 451-459.
- [2] 吴晓明,王海生. 春玉米高产生育规律和营养特性的研究. *浙江农业学报*, 1995, 7(3): 190-195.
- [3] 佟屏来,凌碧莹. 夏玉米氮、磷、钾积累和分配态势研究. *玉米科学*, 1994, 2(2): 65-69.
- [4] 胡昌浩,潘子龙. 夏玉米同化产物积累与养分吸收分配规律的研究. *中国农业科学*, 1982, 2: 38-48.
- [5] Gordon W B. Tillage and nitrogen effects on growth, nitrogen content, and yield of corn. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 1993, 24(5&6): 421-442.
- [6] 张智猛,戴良香. 施肥量对高产下玉米需肥规律的影响. *玉米科学*, 1995, 3(4): 56-61.
- [7] 张智猛,郭景伦. 不同肥料分配方式下高产下玉米氮、磷、钾吸收积累与分配的研究. *玉米科学*, 1994, 2(4): 50-56.
- [8] 董 钻. 大豆氮、磷、钾吸收动态及模式的研究. *作物学报*, 1996, 22(1): 89-95.

Dynamics and Models of N, P and K Absorption by Spring Maize as Influenced by Nitrogen and Potassium Interaction

HE Ping, JIN Ji-yun

(Soil and Fertilizer Institute, CAAS, Key laboratory of Plant Nutrition Research, MOA, Beijing 100081)

Abstract: The accumulation process of nitrogen, phosphorous (P) and potassium in spring maize plants under different ratios of N to K could be described by Logistic curve equation. The highest nutrients absorption rates (HAR) and the time of HAR occurring were obviously influenced by different ratios of N to K. High HAR and its early occurring could be achieved with the rational ratio of N to K. The HAR of N occurred in middle-later growing stage, indicating that a split application of N is needed to improve N utilization rate. The amount of N, P and K required for the production of 100 kg maize grain were 1.954kg, 0.376kg. The rational ratio of N:P:K absorbed by maize was 1:0.19:0.71.

Key words: Different ratios of N to K; Spring maize; Dynamic and models of N, P and K absorption.